

Мезенин С.М., аспирант

Научные руководители Сарапулов Ф.Н., проф., д-р техн. наук

Иванушкин В.А., доц., канд. техн. наук

## ДЕТАЛИЗИРОВАННАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕРМОПАРЫ В ПАКЕТЕ MATLAB 6.5

Поведение системы регулирования температуры во многом зависит от динамической характеристики датчика, которая в ряде случаев может оказывать одним из самых инерционных ее элементов. Поэтому для оценки ожидаемой точности регулирования температуры необходимо знать динамическую характеристику датчика.

На этапе проектирования модели термопары применим эквивалентные тепловые схемы. Устройство датчика представим в виде системы однородных тел, связи между которыми определены условиями теплообмена. В плоскости симметрии каждого тела устанавливаем узел, к которому подключаются сопротивления теплообмена с другими телами. Тепловые сопротивления определяются через параметры среды – теплоемкость, коэффициенты теплопроводности и теплоотдачи, зависящие от температуры. Для определения температуры отдельных частей термопары записывается и решается система уравнений (1).

$\left. \begin{aligned} \text{кожух\_термопары} : Pnt + qnt &= qvt + Pvt + Ckt \frac{\partial Qkt}{\partial t} \\ \text{спай\_термопары} : 0 &= -qvt - Pvt + Cpl \frac{\partial Qpl}{\partial t} \end{aligned} \right\}$	(1)
--	-----

где  $Pnt$  – передача тепла излучением от нагревателя к кожуху термопары (2);  $Pvt$  – передача тепла излучением от кожуха к спая термопары (3);  $qnt$  и  $qvt$  – тепловые потоки от нагревателя к кожуху (4), от кожуха к спая (6);  $Ckt$  и  $Cpl$  – теплоемкости кожуха и спая термопары.

$Pnt = C \cdot Skt \left[ \left( \frac{273 + Qn}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 + Qkt}{100} \right)^4 \right]$	(2)
---	-----

где  $C$  – приведенный коэффициент излучения;  $Skt$  – Поверхность лучистого теплообмена;  $Qn$  – температура нагревателя;  $Qkt$  – температура кожуха.

$Pvt = Cpl \cdot Spl \left[ \left( \frac{273 + Qkt}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 + Qpl}{100} \right)^4 \right]$	(3)
--	-----

где  $Cpl$  – приведенный коэффициент излучения спая и кожуха;  $Spl$  – поверхность спая,  $Qpl$  – температура спая.

$qnt = \lambda nt (Qn - Qkt),$	(4)
--------------------------------	-----

где  $\lambda nt$  – тепловая проводимость от нагревателя до центра стенки кожуха (5).

$\lambda nt = \frac{1}{\frac{1}{\lambda 1} + \frac{1}{\lambda 2} + \frac{1}{\lambda 3} + \frac{1}{\lambda 4}}$	(5)
--	-----

где  $\lambda 1$  – теплопроводность теплоотдачи с поверхности нагревателя;  $\lambda 2$  – теплопроводность воздушного промежутка между нагревателем и кожухом термопары;  $\lambda 3$  – теплопроводность теплоотдачи с поверхности термопары;  $\lambda 4$  – теплопроводность половины стенки кожуха термопары.

$qvt = \lambda kp (Qn - Qkt),$	(6)
--------------------------------	-----

где  $\lambda kp$  – тепловая проводимость от центра стенки кожуха до спая (7).

$\lambda nt = \frac{1}{\frac{1}{\lambda 5} + \frac{1}{\lambda 6} + \frac{1}{\lambda 7} + \frac{1}{\lambda 8}}$	(7)
--	-----

где  $\lambda 5$  – теплопроводность второй половины стенки кожуха;  $\lambda 6$  – теплопроводность теплоотдачи с внутренней поверхности кожуха термопары;  $\lambda 7$  – теплопроводность воздушного промежутка между кожухом термопары и спаем;  $\lambda 8$  – теплопроводность теплоотдачи с поверхности спая.

Решив систему уравнений (1) в операторной форме при начальных нулевых условиях, получим систему (8):

$\begin{cases} 0 = -Pnt - qnt + qvt + Pvt + Ckt \cdot p \cdot Qkt \\ 0 = -qvt - Pvt + Cpl \cdot p \cdot Qpl \end{cases}$	(8)
--	-----

Преобразуя эту систему, получим модель термопары в переменных состояния (рис.1).

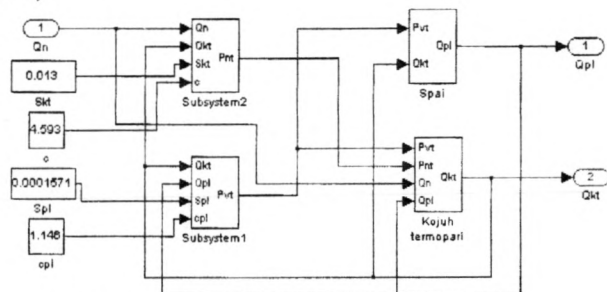


Рис. 1. Модель термопары в пакете Matlab 6.5

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы: каждый элемент термодары нагревается неравномерно; время запаздывания модели термопреобразователя находится в пределе от 100 до 300 секунд (рис.2), что соответствует характеристикам реального объекта. Хотя при расчете использовались простые интегральные звенья, в модели характерно выражены запаздывание и инерционность, это говорит о большом влиянии обратных связей в детализированной динамической модели термодары.

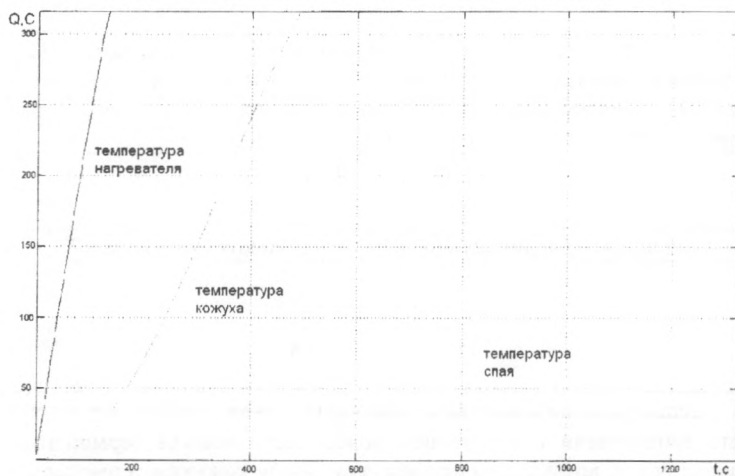


Рис. 2. Динамические характеристики модели